

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM
28. JUNI 1956

DEUTSCHES PATENTAMT

PATENTSCHRIFT

Nr. 944 900

KLASSE 421 GRUPPE 3 09

INTERNAT. KLASSE G 01 n ———

P 11054 IX/421

Dr. Wolfgang Paul und Dr. Helmut Steinwedel, Bonn
sind als Erfinder genannt worden

Dr.-Ing. Wolfgang Paul, Bonn

Verfahren zur Trennung bzw. zum getrennten Nachweis von Ionen verschiedener spezifischer Ladung

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 24. Dezember 1953 an

Patentanmeldung bekanntgemacht am 5. Januar 1956

Patenterteilung bekanntgemacht am 7. Juni 1956

Die bekannten Verfahren zur Trennung bzw. zum
getrennten Nachweis von Ionen verschiedener Masse
und Ladung, sogenannte Massenspektrometer bzw.
elektromagnetische Isotopentrenner, arbeiten nach
5 folgendem Prinzip: Durch gleichzeitige oder sukzessive
Messung von zwei der drei Größen Impuls, Energie,
Geschwindigkeit der Ionen wird durch Elimination
der Geschwindigkeit die spezifische Ladung $\frac{e}{m}$
10 (e = Ladung, m = Masse) der Ionen bestimmt. Bei
bekannter Ladung e der Ionen (Regelfall) ergibt sich
daraus dann direkt die Masse m . Dabei kann die
Messung der genannten Größen sowohl explizit als
auch implizit erfolgen; bei Verfahren mit impliziter

Messung wird in der Regel eine räumliche oder zeit- 15
liche Trennung der Ionen verschiedener spezifischer
Ladung erreicht. Dabei erfolgt a) die (explizite oder
implizite) Messung des Impulses durch Ablenkung der
Ionen in einem statischen Magnetfeld; b) die (explizite
oder implizite) Messung der Energie durch Ablenkung 20
oder Beschleunigung der Ionen in einem statischen
elektrischen Feld; c) die Messung der Geschwindigkeit
durch Bestimmung der Zeit, die die Ionen benötigen,
um eine vorgegebene (geradlinige oder gekrümmte)
Strecke zu durchlaufen (Laufzeitmessung, Laufzeit- 25
spektrometer); die Laufzeitmessung erfolgt dabei bei
den zur Zeit gebräuchlichen Verfahren mit hoch-
frequenztechnischen Mitteln.

Die zur Zeit gebräuchlichen Verfahren zur Laufzeitmessung werden wie folgt angewendet:

1. Man stellt Ionen mit definierter Energie durch Beschleunigung in einem geeigneten elektrischen Feld her, läßt während einer kurzen Zeitdauer eine Anzahl dieser Ionen starten und mißt mit hochfrequenztechnischen Mitteln die Zeit bis zu ihrer Registrierung in einer Registriervorrichtung, die in einer geeigneten Entfernung vom Startpunkt steht. Zur Verlängerung der Laufstrecke können die Ionen noch in geeigneter Weise durch statische (elektrische bzw. magnetische) Felder ein- oder mehrmals abgelenkt werden.

2. Ionen von definierter Energie werden durch zwei um eine bestimmte Strecke voneinander entfernte Paare von Ablenkplatten (Elektroden) geschickt, an denen eine hochfrequente Wechselspannung bestimmter Frequenz liegt. Es gelangen nur diejenigen Ionen unabgelenkt durch die Anordnung hindurch und damit in die Registriervorrichtung, die beide Plattenpaare jeweils zu dem Zeitpunkt passieren, in dem die Wechselspannung den Momentanwert Null hat. Aus der Frequenz der Wechselspannung und der Entfernung zwischen beiden Plattenpaaren ergibt sich dann die Geschwindigkeit.

3. Es wird die Umlauffrequenz bzw. -zeit der Ionen in einem homogenen statischen Magnetfeld mit hochfrequenztechnischen Mitteln gemessen. Dabei wird genau genommen nicht die Geschwindigkeit, sondern direkt das Verhältnis von Impuls zu Geschwindigkeit der Ionen gemessen, da die Umlauffrequenz im Magnetfeld von der Ionen Geschwindigkeit unabhängig ist. Eine Variante dieses Verfahrens ist die Bestimmung der Umlauffrequenz von Ionen durch Messung der Resonanzfrequenz in einem kleinen Zyklotron.

4. Es wird der Energiegewinn der Ionen in einem kleinen Linearbeschleuniger gemessen. Damit die Ionen einer bestimmten Masse den maximal erreichbaren Energiegewinn erzielen, müssen sie die einzelnen Abschnitte des Linearbeschleunigers in genau bestimmten Zeiten durchlaufen, was man durch geeignete Einstellung der Amplitude der hochfrequenten Betriebsspannung erreichen kann. Aus Amplitude und Frequenz ergibt sich dann die spezifische Ladung der Ionen.

Die Laufzeitmethoden haben folgende Nachteile:

a) Es werden nur diejenigen Ionen zur Messung benutzt, die (im sogenannten »Impulsbetrieb«) jeweils während eines bestimmten kurzen Intervalls starten (Verfahren nach 1. und 3.) bzw. die bestimmten Phasenbeziehungen genügen (nach Verfahren 2, 3 und 4). Daraus resultiert ein beträchtlicher Intensitätsverlust (Intensität = Anzahl der Ionen, die im Mittel pro Zeiteinheit registriert werden), weshalb die Laufzeitverfahren zur Isotopentrennung ungeeignet sind.

b) In der Regel werden nicht nur Ionen einer bestimmten Masse m (bei bekannter Ladung e) registriert, sondern auch solche Ionen, deren Massen um einen Faktor 2, $\sqrt{2}$ od. dgl. größer bzw. kleiner sind.

Ein anderes bekanntes Verfahren, das jedoch in der Praxis bisher nicht benutzt wurde, arbeitet wie folgt:

Die Ionen werden in ein zeitlich konstantes elektrisches Feld gebracht, dessen Potential proportional x^2

ist (Oszillatorpotential), in welchem sie in x -Richtung harmonische Schwingungen ausführen. Durch Überlagerung eines hochfrequenten Wechselfeldes werden diejenigen Ionen, deren Eigenschwingungsfrequenz mit der Frequenz des Wechselfeldes übereinstimmt oder ein ganz- oder halbzahliges Vielfaches davon ist, gegen das Gleichfeld zu immer höheren Schwingungsamplituden aufgeschaukelt (Resonanz) und so von den übrigen getrennt.

Dieses Verfahren hat folgende Nachteile:

a) Ähnlich wie bei den Laufzeitverfahren werden nicht nur Ionen einer bestimmten Masse m registriert, sondern auch solche, deren Massen um bestimmte rationale Faktoren größer oder kleiner sind.

b) Wegen der Beziehung $\Delta\varphi = 0$ (Laplacesche Gleichung), der das elektrische Potential φ des Gleichfeldes genügen muß, ist es unvermeidlich, daß in der y - bzw. z -Richtung defokussierende Kräfte auf die Ionen einwirken, d. h. Kräfte, die die Ionen von der x -Achse fortziehen, weshalb man noch ein magnetisches Längsfeld zur Fokussierung benötigt, wenn die Anordnung überhaupt mit Erfolg arbeiten soll. Dadurch wird jedoch wieder die Resonanz gestört.

c) Es ist nicht zur Trennung von Isotopen in wägbaren Mengen geeignet.

Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung werden die Ionen in ein zeitlich periodisches elektrisches Feld gebracht, dessen Potential $\varphi(x, y, z, t)$ eine quadratische Funktion der Koordinaten x, y, z von der allgemeinen Form

$$\varphi = f(t)(\alpha x^2 + \beta y^2 - \gamma z^2)$$

ist und $f(t)$ eine beliebige periodische Funktion der Zeit t ist, so daß die Ionen in dem genannten Feld je nach ihrer spezifischen Ladung stabile oder instabile Bahnen beschreiben und dadurch getrennt bzw. getrennt registriert werden.

Wegen der Laplaceschen Gleichung $\Delta\varphi = 0$ (das Feld soll quasistationär sein) müssen die (sonst beliebigen) Konstanten α, β und γ der Beziehung $\alpha + \beta = \gamma$ genügen. (Wegen spezieller Felder und so weiter vgl. die unten angeführten Beispiele.) Derartige Felder lassen sich aus herstellungstechnischen Gründen natürlich nur näherungsweise realisieren, da die felderzeugenden Elektroden (Flächen konstanten Potentials, die in vorliegendem Fall Hyperboloide sein müßten) nur eine begrenzte Ausdehnung haben können. Es läßt sich jedoch immer erreichen, daß das Potential mit hinreichender Genauigkeit in einer genügend großen Umgebung des Koordinatenursprungs die oben angegebene Gestalt hat.

Bringt man Ionen in ein derartiges Feld, so stellt sich überraschenderweise folgendes heraus:

i. Es gibt zwei verschiedene Arten von Ionenbahnen: Entweder führen die Ionen um das Symmetriezentrum des Feldes (meist unregelmäßige) Schwingungen aus, deren Amplituden einen gewissen (von Ion zu Ion verschiedenen) Maximalwert nicht überschreiten (»stabile« Bahnen), oder aber die Amplituden nehmen außerordentlich rasch zu, so daß die Teilchen in sehr kurzer Zeit auf die felderzeugenden Elektroden oder sonstigen Begrenzungen der Apparatur fliegen

(„instabile“ Bahnen). In dem oben angegebenen allgemeinen Feld ist das Symmetriezentrum der Koordinatenursprung. Setzt man jedoch z. B. $\alpha = 0$, so ist das Symmetriezentrum die x -Achse.

2. Bei einem vorgegebenen Feld hängt es allein von der spezifischen Ladung des Ions ab, ob es eine stabile oder instabile Bahn beschreibt; die Stabilität oder Instabilität der Bahnen ist insbesondere unabhängig von Anfangsort sowie Richtung bzw. Größe der Anfangsgeschwindigkeit der Ionen. (Dies gilt natürlich nur in dem Gebiet, wo das Feld die oben angegebene Gestalt hat.) Es gibt also bei vorgegebenem Feld stabile bzw. instabile Bereiche für die spezifische

Ladung $\frac{e}{m}$ der Ionen. Liegt die spezifische Ladung eines Ions in einem stabilen Bereich, so sind alle möglichen Bahnen stabil; liegt sie in einem instabilen Bereich, so sind alle möglichen Bahnen instabil.

3. Die Lage und Breite der stabilen bzw. instabilen Bereiche der spezifischen Ladung läßt sich in sehr weiten Grenzen allein durch Änderung von Amplitude, Frequenz und/oder Schwingungsform der felderzeugenden Spannungen, mathematisch gesprochen durch entsprechende Variation der Funktion $f(t)$, verändern. Eine weitere Möglichkeit zur Veränderung der Bereiche, insbesondere zur Einengung der stabilen Bereiche, ist die räumliche oder zeitliche Änderung von Frequenz, Amplitude und/oder Schwingungsform der felderzeugenden Spannungen, derart, daß sich die damit (räumlich oder zeitlich) variierten Stabilitätsbereiche nur teilweise überdecken; dann beschreiben nur solche Teilchen stabile Bahnen, deren spezifische Ladung stets (überall bzw. zu allen Zeiten) im stabilen Bereich liegt, der effektive stabile Bereich besteht also nur aus dem gemeinsamen Teil der variierten stabilen Bereiche.

Aus 1. bis 3. folgt, daß zeitlich periodische elektrische Felder, deren Potential eine quadratische Funktion der Koordinaten ist, zur Trennung von Ionen verschiedener spezifischer Ladung geeignet sind. Bei einer theoretischen Untersuchung der Ionenbahnen zeigt es sich, daß die Bewegung der Ionen in einem solchen Feld durch lineare Differentialgleichungen mit periodischen Koeffizienten beschrieben werden kann. Eine mathematische Analyse dieser Differentialgleichungen bestätigt die Punkte 1 bis 3. Anschaulich ist die Wirkungsweise der beschriebenen elektrischen Felder folgendermaßen verständlich: Auf das Ion wirken während eines Teils der Periode Kräfte, die es zum Symmetriezentrum des Feldes hinziehen, während des anderen Teils aber Kräfte, die es vom Symmetriezentrum fortziehen. Gelingt es den Kräften des ersten Teils, die Bahnen der Ionen genügend stark umzubiegen, so daß sie stets wieder auf das Symmetriezentrum zufliegen, so befinden sich die betreffenden Ionen im stabilen Bereich. Da die Beschleunigung der Ionen proportional der spezifischen Ladung ist, hängt es bei vorgegebenen zeitlich periodischem elektrischem Feld von der spezifischen Ladung ab, ob ein Ion im stabilen oder instabilen Bereich liegt.

Das Verfahren gemäß der Erfindung unterscheidet sich insbesondere von den bisherigen Verfahren, die

ein hochfrequentes elektrisches Feld benutzen, dadurch, daß das hochfrequente Feld nicht zur Messung der Laufzeit der Ionen benutzt wird und die Wirkungsweise dementsprechend unabhängig von der Phasenlage ist, mit der die Ionen in das Feld eintreten, so daß das Verfahren gemäß der Erfindung nicht auf Impulsbetrieb angewiesen ist, sondern die Trennung von Ionen verschiedener spezifischer Ladung kontinuierlich erfolgen kann.

Das Verfahren gemäß der Erfindung unterscheidet sich ferner von dem an letzter Stelle angeführten bekannten Verfahren unter anderem dadurch, daß das Gleichfeld (zeitlicher Mittelwert des zeitlich periodischen Feldes) nur ein mögliches Hilfsmittel ist, um den stabilen Bereich zu verändern bzw. einzuengen (vgl. unten, insbesondere Abb. 5 und 6), und nicht Voraussetzung für harmonische Schwingungen der Ionen ist, auf denen das bekannte Verfahren beruht. Infolgedessen ist in dem Verfahren gemäß der Erfindung die Gleichspannung auch erheblich niedriger als der Scheitelwert der hochfrequenten Wechselfeldspannung, während bei dem bekannten Verfahren umgekehrt die Wechselfeldspannung erheblich niedriger als die Gleichspannung ist. Außerdem wird kein Magnetfeld zur zusätzlichen Fokussierung der Ionen benötigt, da auf die Ionen im stabilen Bereich im zeitlichen Mittel keinerlei defokussierende Kräfte einwirken.

Die Vorteile des Verfahrens gemäß der Erfindung gegenüber den bisherigen Verfahren sind im wesentlichen die folgenden:

1. Weitgehende Vereinfachung des apparativen Aufwandes. Da das Verfahren nur ein elektrisches Wechselfeld von mäßiger Spannung bzw. Frequenz benötigt, ist es allen bisherigen Verfahren hinsichtlich der Einfachheit des Aufbaues überlegen.

2. Unabhängigkeit der Wirkungsweise von den Anfangsbedingungen.

Da die Wirkungsweise des Verfahrens insbesondere unabhängig von Richtung und Betrag der Anfangsgeschwindigkeit der Ionen ist, kann man Ionenquellen mit großer Geschwindigkeitsinhomogenität verwenden, ohne daß das Auflösungsvermögen (Trennschärfe) dadurch verschlechtert wird. Das Auflösungsvermögen ist für Ionen bekannter Ladung definiert durch $\frac{m}{\Delta m}$,

wobei m die Masse der nachzuweisenden Ionen und Δm die Massendifferenz gegenüber den anderen Ionen ist, die von den nachzuweisenden noch getrennt werden können. Da man bei den meisten der bisherigen Verfahren nur Ionen in einem engen Richtungs- und Geschwindigkeitsbereich zur Messung verwenden kann, kann man gegenüber diesen Verfahren einen beträchtlichen Gewinn an Intensität erzielen, so daß die Anforderungen an die Empfindlichkeit der Nachweisapparaturen weitgehend gesenkt werden können. Große Intensitäten (d. h. hohe Ionenströme) sind insbesondere für Anordnungen zur Trennung von Isotopen von Vorteil.

3. Bequeme Steuerung von Lage und Breite der stabilen bzw. instabilen Bereiche allein durch Änderung von Frequenz, Amplitude und/oder Schwingungsform der felderzeugenden Spannungen. Der Meßbereich und die Meßgenauigkeit einer einmal hergestellten Appa-

ratur können also in sehr weiten Grenzen verändert werden.

Die Vorteile des Verfahrens gegenüber den Laufzeitspektrometern sind insbesondere die folgenden:

4. Wegen der Unabhängigkeit von den Anfangsbedingungen (vgl. unter 2.) ist man nicht an Impulsbetrieb bzw. Erfüllung von Phasenbeziehungen gebunden. Die Laufzeitspektrometer sind aus diesem Grunde ungeeignet zur Isotopentrennung, während das Verfahren gemäß der Erfindung dafür besonders geeignet ist.

5. Es läßt sich leicht erreichen, daß von Ionen bekannter Ladung nur Ionen einer ganz bestimmten Masse registriert werden. Störungen durch Massen, die um einen Faktor $2, \sqrt{2}$ od. dgl. größer bzw. kleiner sind, lassen sich also ohne besonderen Aufwand vermeiden.

6. Befinden sich die Ionen vermöge ihrer spezifischen Ladung in einem stabilen Bereich, so sind nach keiner Richtung hin defokussierende Kräfte vorhanden, es sind also keine zusätzlichen magnetischen Felder zur Fokussierung der Ionen nötig.

Im folgenden werden einige Beispiele für die Durchführung des gemäß der Erfindung entwickelten Verfahrens angegeben. Zwei einfache Feldtypen der oben angegebenen Art sind:

1. Zylindersymmetrisches Feld ($\alpha = 0, \beta = \gamma = 1$), $\varphi = f(t) (y^2 - z^2)$. Das Potential ist unabhängig von x , Symmetriezentrum ist die x -Achse. Ein solches Feld wird erzeugt (Abb. 1) durch vier hyperbelförmige Elektroden A, A, B, B im Abstand a von der x -Achse, deren Asymptotenebenen einen Neigungswinkel von 90° einschließen. Die beiden Elektroden A bzw. B werden jeweils leitend miteinander verbunden; zwischen den Elektrodenpaaren A und B liegt die zeitlich periodische Spannung $E = 2 a^2 \cdot f(t)$.

Aus herstellungstechnischen Gründen kann das zylindersymmetrische Feld in guter Näherung auch durch vier kreiszylindrische Elektroden (Abb. 2) erzeugt werden (Bezeichnung und Schaltung wie oben). Die kreiszylindrischen Elektroden gestatten für Trennzwecke zur Erzielung hoher Intensitäten auch eine bequeme Material- und Betriebsenergie sparende Vervielfachung der Trennanordnung, in der die kreiszylindrischen Elektroden jeweils gleichzeitig in mehreren (bis zu vier) Einzelanordnungen wirksam sind (Abb. 3). Wie oben werden alle Elektroden A bzw. B miteinander leitend verbunden, zwischen je zwei Elektroden A, B liegt jeweils die Spannung $E = 2 a^2 \cdot f(t)$.

2. Rotationssymmetrisches Feld ($\alpha = \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 1$), $\varphi = f(t) (x^2 + y^2 - 2 z^2)$. Das Potential ist rotationssymmetrisch um die z -Achse, Symmetriezentrum ist der Koordinatenursprung. Ein solches Feld wird erzeugt (vgl. Abb. 4) durch drei rotationssymmetrische hyperbelförmige Elektroden A, B, B (ein einschaliges und ein zweischaliges Rotationshyperboloid) deren Asymptotenkegel einen Öffnungswinkel δ von $109,47^\circ$ ($\text{tg } \delta/2 = \sqrt{2}$) hat. Die Elektroden B werden leitend miteinander verbunden, zwischen der Elektrode A und dem Elektrodenpaar B liegt die zeitlich periodische Spannung $E = 2 a^2 \cdot f(t)$. In Abb. 4 ist unten ein Schnitt durch die Anordnung gezeichnet. Um im

Raum zwischen den Elektroden Ionen zu erzeugen, werden seitlich durch eine oder mehrere kleine Öffnungen in einer der Elektroden B Elektronen eingeschossen.

Wählt man speziell eine sinusförmige Zeitabhängigkeit, so erhält man:

1a). Zylindersymmetrisches Feld:

$$\varphi = \frac{U + V \sin \omega t}{a^2} \frac{y^2 - z^2}{2}$$

Zwischen den Elektrodenpaaren A, B (Abb. 1 oder 2) liegt nunmehr eine Spannung $E = U + V \sin \omega t$, d. h. eine Gleichspannung U und eine Wechselspannung mit der Frequenz $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ und dem Scheitelwert V . Der sich aus der theoretischen Untersuchung der Ionenbahnen ergebende erste stabile Bereich für die spezifische Ladung $\frac{e}{m}$ ist in Abb. 5 in Abhängigkeit

von dem Verhältnis $\frac{U}{V}$ dargestellt. Es existieren für

kleines $\frac{U}{V}$ bei viel höheren Werten von $\frac{e}{m}$ noch weitere stabile Bereiche, deren Breite immer mehr abnimmt und schon für den zweiten Bereich nur wenige Prozent beträgt. Man kann selbstverständlich auch diese Bereiche zur Trennung benutzen. Man sieht unmittelbar die Auswirkungen einer Veränderung von Frequenz bzw. Amplitude der Wechselspannung sowie der Veränderung des Verhältnisses von Gleich- zu Wechselspannung (Spezialfall einer Änderung der Schwingungsform). Schießt man Ionen in x -Richtung in ein solches Feld ein, so können also nur solche Ionen durch das Feld hindurchgelangen, deren $\frac{e}{m}$ im stabilen Bereich liegt; alle anderen fliegen gegen die Elektroden. Das Feld wirkt also bei Ionen bekannter Ladung als Massenfilter mit einstellbarer Bandbreite, es kann folglich unter anderem als Massenspektrometer und als Isotopentrenner benutzt werden.

2a). Rotationssymmetrisches Feld:

$$\varphi = \frac{U + V \sin \omega t}{a^2} \frac{x^2 + y^2 - 2 z^2}{2}$$

Zwischen der Elektrode A und den beiden Elektroden B (Abb. 4) liegt nunmehr eine Spannung $E = U + V \sin \omega t$, wie oben in 1a). Der erste stabile Bereich dieser Anordnung ist in Abb. 6 dargestellt, auch hier läßt sich die Breite des stabilen Bereichs durch Veränderung von $\frac{U}{V}$ variieren. Erzeugt man Ionen in einem

solchen Feld (z. B. durch Elektronehstoß, vgl. Abb. 4), so verbleiben die Ionen des stabilen $\frac{e}{m}$ -Bereichs zwischen den Elektroden, während die Ionen des instabilen $\frac{e}{m}$ -Bereichs auf die Elektroden fliegen.

Somit sind die Ionen entweder im stabilen Bereich unter anderem als zusätzliche induktive Belastung des Wechselstromkreises nachweisbar oder aber im instabilen Bereich als Wirklast, da sie dann wie ein

Ohmscher Widerstand wirken. Um die Meßgenauigkeit für die Wirklastmethode (Ionen im instabilen Bereich) zu erhöhen, kann man durch Überlagerung einer weiteren Wechselspannung kleiner Amplitude und halber Frequenz einen schmalen instabilen Bereich in den stabilen einbetten, dessen Breite mit der Amplitude wächst. Die rotationssymmetrische Anordnung kann also unter anderem als Massenspektrometer und als Partialdruckmanometer benutzt werden.

Von den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens seien als Beispiele die folgenden hervorgehoben:

1. Verwendung zur Massenanalyse. Da man mit Hilfe des Verfahrens, wie oben ausgeführt, Ionen verschiedener spezifischer Ladung voneinander trennen bzw. getrennt nachweisen kann, kann das Verfahren zur Konstruktion eines Massenspektrometers benutzt werden. Dazu eignet sich unter anderem sowohl das oben näher erläuterte zylindersymmetrische als auch das rotationssymmetrische Feld.

2. Verwendung zur Isotopentrennung. Da das Verfahren, wie oben ausgeführt, hohe Intensitäten (hohe Ionenströme) gestattet, kann das Verfahren zur Konstruktion einer Anlage zur Isotopentrennung benutzt werden. Dazu eignet sich insbesondere das zylindersymmetrische Feld.

3. Verwendung als Manometer zur Messung von Partialdrücken der Komponenten stark verdünnter Gasgemische. Das ionisierte Gasgemisch wird z. B. in das rotationssymmetrische Feld gebracht; die einzelnen Komponenten des Gemisches werden durch entsprechende Verschiebung der Stabilitäts- bzw. Instabilitätsbereiche nacheinander nachgewiesen bzw. quantitativ gemessen. Die Vorteile eines derartigen Manometers gegenüber den bisher gebräuchlichen sind unter anderem die Kleinheit der Anordnung (es genügen Lineardimensionen von wenigen Zentimetern) und die leichte Ausheizbarkeit (die Anordnung besteht im wesentlichen aus drei Metallelektroden).

4. Verwendung zur Lecksuche bei Vakuumapparaturen. Die Vakuumapparatur wird in eine Atmosphäre gebracht, die geringe Beimischungen von luftfremden Gasen enthält. Dringen diese durch Lecks in die Apparatur ein, können sie durch ein Manometer nach 3. leicht nachgewiesen werden.

5. Verwendung zur Trennung von Gasgemischen sowie von Gemischen von Flüssigkeiten und festen Stoffen in Dampfphase. Die Gas- bzw. Dampfgemische werden ionisiert und durch das zylindersymmetrische Feld wie unter 2. getrennt. Ein Vorteil dieses Verfahrens gegenüber Trennung durch Destillation bzw. Sublimation ist unter anderem, daß man die Gemische auch dann trennen kann, wenn zwei oder mehrere Komponenten gleichen Dampfdruck bzw. gleiche Siedepunkte haben.

6. Verwendung zur Spurenanalyse. Das Massenspektrometer nach 1. kann auch zur Spurenanalyse benutzt werden.

7. Verwendung zur Messung von kleinen Dampfdrücken, insbesondere bei Gemischen. Das Partialdruckmanometer nach 3. kann ohne weiteres auch zur Messung kleiner Dampfdrucke benutzt werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung veranschaulicht.

Abb. 1 zeigt eine zylindersymmetrische Anordnung, bei welcher die Ionen in x -Richtung in das zeitlich periodische elektrische Feld mit dem Potential $\varphi = f(t) (y^2 - z^2)$ eingeschossen werden. Dieses Feld wird erzeugt durch vier hyperbelförmige Elektroden A, A, B, B im Abstand a von der x -Achse. Zwischen den Elektrodenpaaren A und B liegt die zeitlich periodische Spannung $E = 2a^2 f(t)$.

Abb. 2 zeigt eine Anordnung, bei welcher das nach Abb. 1 vorgesehene Feld in guter Näherung durch vier kreiszyklindrische anstatt durch hyperbelförmige Elektroden erzeugt wird, während die Anordnung im übrigen der Abb. 1 entspricht.

Abb. 3 zeigt ein Beispiel für die Vervielfachung der Anordnung der Abb. 2, wobei jeweils vier benachbarte Elektroden A, A, B, B eine Anordnung nach Abb. 2 bilden.

Abb. 4 veranschaulicht eine rotationssymmetrische Anordnung, die im oberen Teil der Abbildung in perspektivischer Ansicht und im unteren Teil der Abbildung im Schnitt dargestellt ist. In der perspektivischen Ansicht wurde zur Vereinfachung die Elektronenquelle nicht gezeigt. Bei dieser Anordnung werden die Ionen durch Elektronenbeschuß E von der Kathode K aus im Raum zwischen den drei um die z -Achse rotationssymmetrischen hyperbelförmigen Elektroden A, B, B erzeugt, und sie bewegen sich in einem zeitlich periodischen elektrischen Feld mit dem Potential $\varphi = f(t) (x^2 + y^2 - z^2)$. Dieses Feld wird durch eine zwischen der Elektrode A und dem Elektrodenpaar B liegende Spannung $E = 2a^2 f(t)$ erzeugt.

Abb. 5 zeigt die Stabilitätsbereiche bei zylindersymmetrischem Feld. Auf der Abszisse ist die spezifische Ladung $\frac{e}{m}$ aufgetragen, gemessen in Einheiten $\frac{a^2 \omega^2}{V}$. Eine Änderung der Frequenz $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ bzw. Amplitude V der Wechselspannung bewirkt also eine Maßstabsänderung auf der Abszisse, folglich eine Verschiebung des stabilen Bereichs. Als Ordinate ist das Verhältnis von Gleich- zu Wechselspannung $\frac{U}{V}$ aufgetragen. Eine Änderung dieses Verhältnisses ändert also die Breite des stabilen Bereichs, die für $\frac{U}{V} = 0,1$ durch einen Pfeil angedeutet ist. Das Vorzeichen von $\frac{U}{V}$ definiert die Polung der Gleichspannung.

Wegen der Symmetrie der Elektrodenanordnung beim zylindersymmetrischen Feld sind die stabilen Bereiche hier unabhängig vom Vorzeichen von $\frac{U}{V}$.

Abb. 6 veranschaulicht die Stabilitätsbereiche bei rotationssymmetrischem Feld, wobei Abszissen und Ordinaten der Abb. 5 entsprechen. Die in das Stabilitätsgebiet eingezeichneten Kurven i_1 und i_2 zeigen zwei schmale instabile Bereiche, die man durch Überlagerung einer weiteren Wechselspannung kleiner Amplitude und halber Frequenz $\nu' = \frac{1}{2} \frac{\omega}{2\pi}$ in den stabilen Bereich einbetten kann. Die Breite der in-

stabilen Bereiche wächst mit der Amplitude der überlagerten Wechselspannung.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Trennung bzw. zum getrennten Nachweis von Ionen verschiedener spezifischer Ladung, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionen in ein zeitlich periodisches elektrisches Feld gebracht werden, dessen Potential φ eine quadratische Funktion der Koordinaten x, y, z von der allgemeinen Form $\varphi = f(t) (a x^2 + \beta y^2 - \gamma z^2)$ ist und $f(t)$ eine beliebige periodische Funktion der Zeit t ist, so daß die Ionen in dem genannten Feld je nach ihrer spezifischen Ladung stabile oder instabile Bahnen beschreiben und dadurch getrennt bzw. getrennt registriert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Lage und Breite der stabilen bzw. instabilen Bereiche durch Veränderung von Amplitude, Frequenz und/oder Schwingungsform der felderzeugenden Spannungen in weiten Grenzen verändert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, insbesondere zur Isotopentrennung oder zur Massenanalyse, dadurch gekennzeichnet, daß dem zeitlich periodischen Feld ein Potential der Form

$$\varphi = \frac{U + V \sin \omega t}{a^2} \frac{y^2 - z^2}{2}$$

gegeben wird (zylindersymmetrisches Feld).

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite des stabilen Bereichs durch Veränderung des Verhältnisses $\frac{U}{V}$ (Gleichspannung/Wechselspannung) verändert wird.

5. Verfahren zur Isotopentrennung nach Anspruch 1 bzw. 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Potential $\varphi = f(t) (y^2 - z^2)$ angenähert durch vier kreiszylindrische Elektroden erzeugt wird.

6. Verfahren zur Isotopentrennung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch Hinzufügen einer beliebigen weiteren Anzahl von kreiszylindrischen Elektroden die Anordnung vervielfacht wird, derart, daß zwischen je vier benach-

barten Elektroden jeweils näherungsweise ein Feld mit dem Potential $\varphi = f(t) (y^2 - z^2)$ erzeugt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, insbesondere zur Massenanalyse, dadurch gekennzeichnet, daß dem zeitlich periodischen Feld ein Potential der Form

$$\varphi = \frac{U + V \sin \omega t}{a^2} \frac{x^2 + y^2 - 2 z^2}{2}$$

gegeben wird (rotationssymmetrisches Feld), so daß diejenigen Ionen, deren spezifische Ladung in einem stabilen Bereich liegt, im Raum zwischen den Elektroden Schwingungen mit begrenzter Amplitude ausführen, und diejenigen Ionen, deren spezifische Ladung in einem instabilen Bereich liegt, gegen die Elektroden fliegen.

8. Verfahren zur Massenanalyse nach Anspruch 1 oder folgenden, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionen im stabilen Bereich als zusätzliche induktive Belastung des Wechselstromkreises nachgewiesen werden.

9. Verfahren zur Massenanalyse nach Anspruch 1 oder folgenden, dadurch gekennzeichnet, daß durch Überlagerung einer weiteren Wechselspannung kleiner Amplitude und halber Frequenz ein schmaler instabiler Bereich in einen breiten stabilen Bereich eingebettet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1 oder folgenden, dadurch gekennzeichnet, daß durch Messung der Konzentration der einzelnen Komponenten die Partialdrucke von verdünnten Gasgemischen bestimmt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Lecksuche bei Vakuumapparaturen die in die Apparatur eingedrungenen luftfremden Gase nachgewiesen werden.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Trennung von Gasgemischen sowie von Gemischen von Flüssigkeiten bzw. festen Stoffen in der Dampfphase die ionisierten Gase bzw. Dampfgemische getrennt werden.

13. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9, gekennzeichnet durch die Verwendung zur Spurenanalyse.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

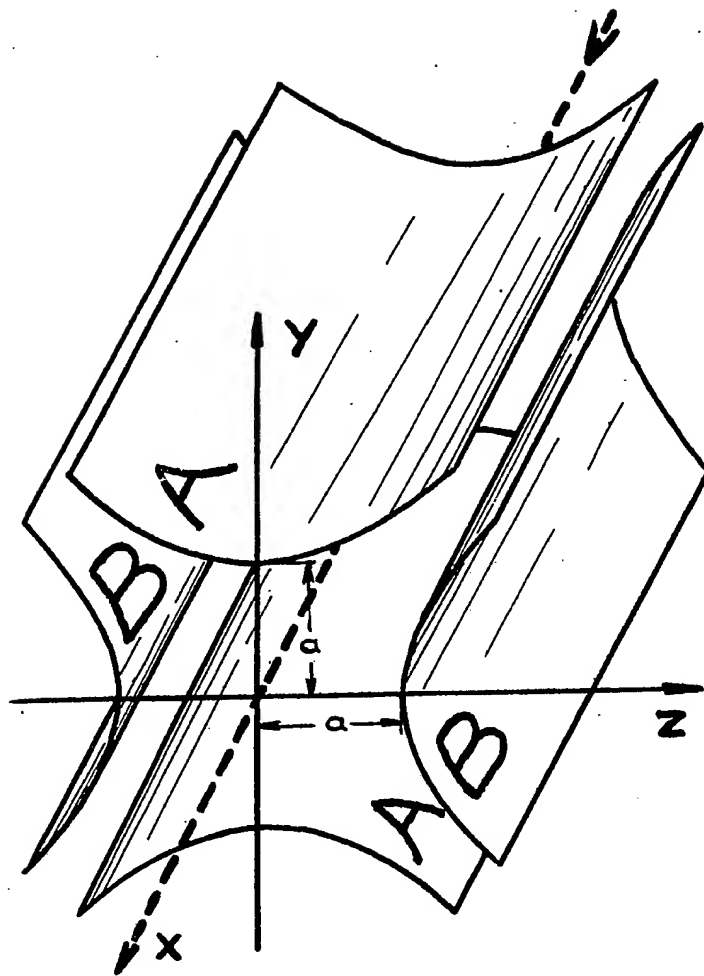


Abb. 1

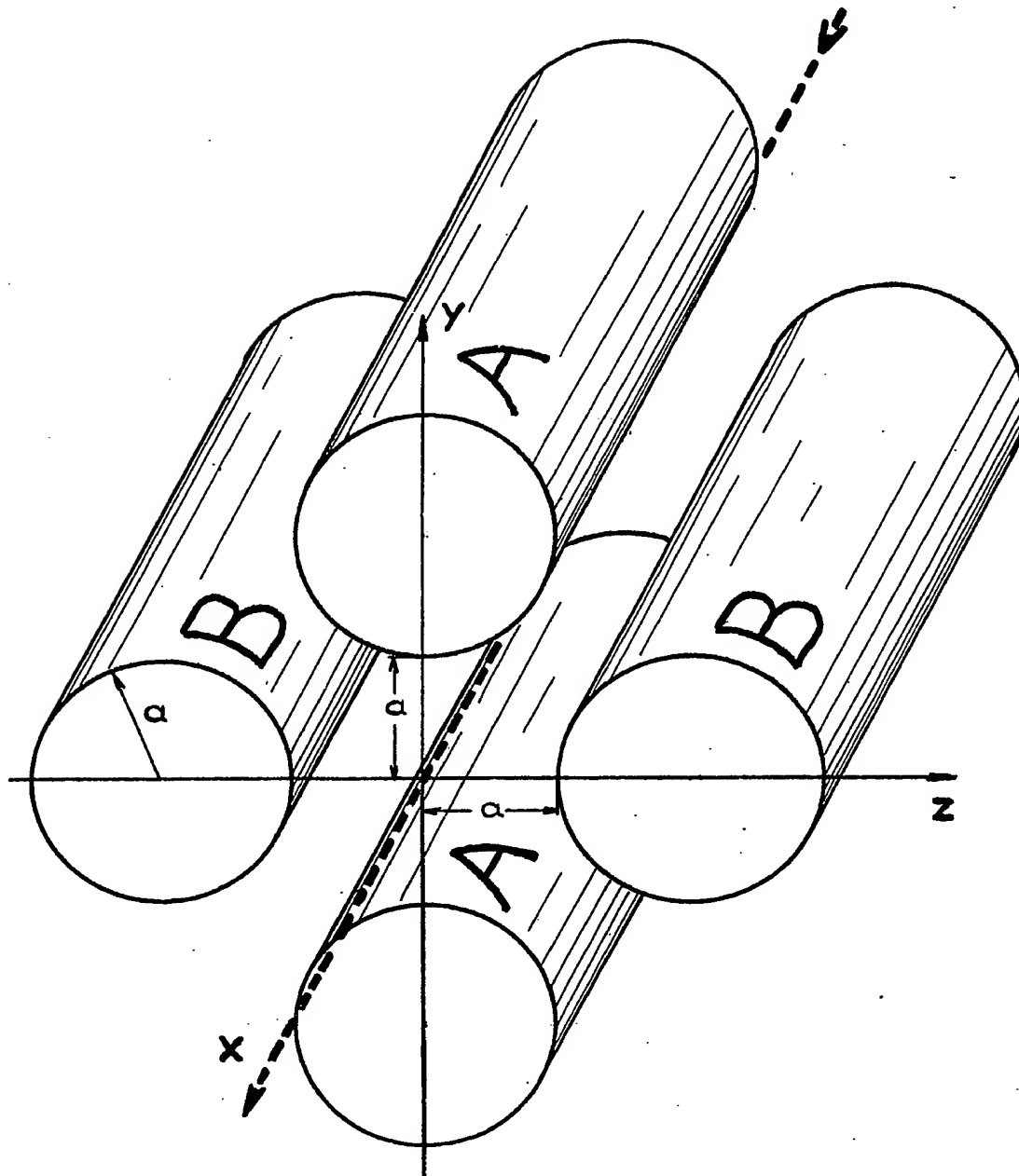


Abb. 2

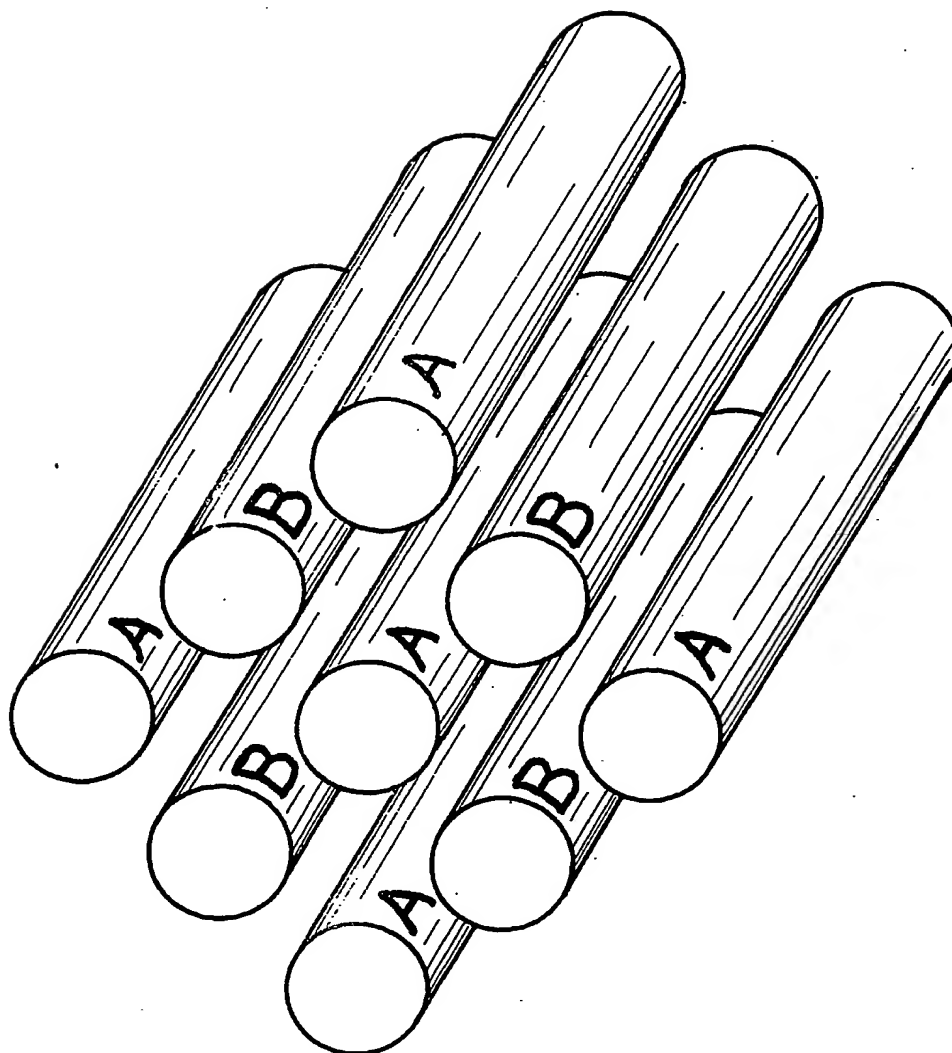


Abb. 3

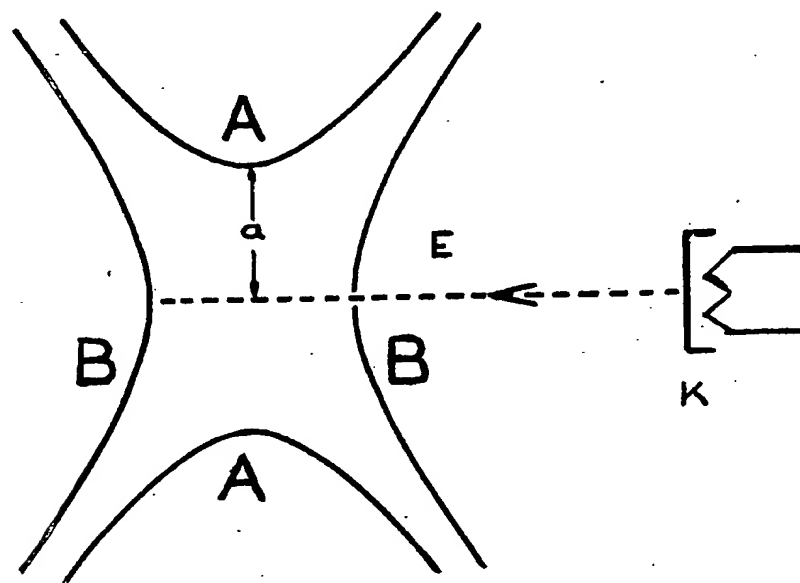
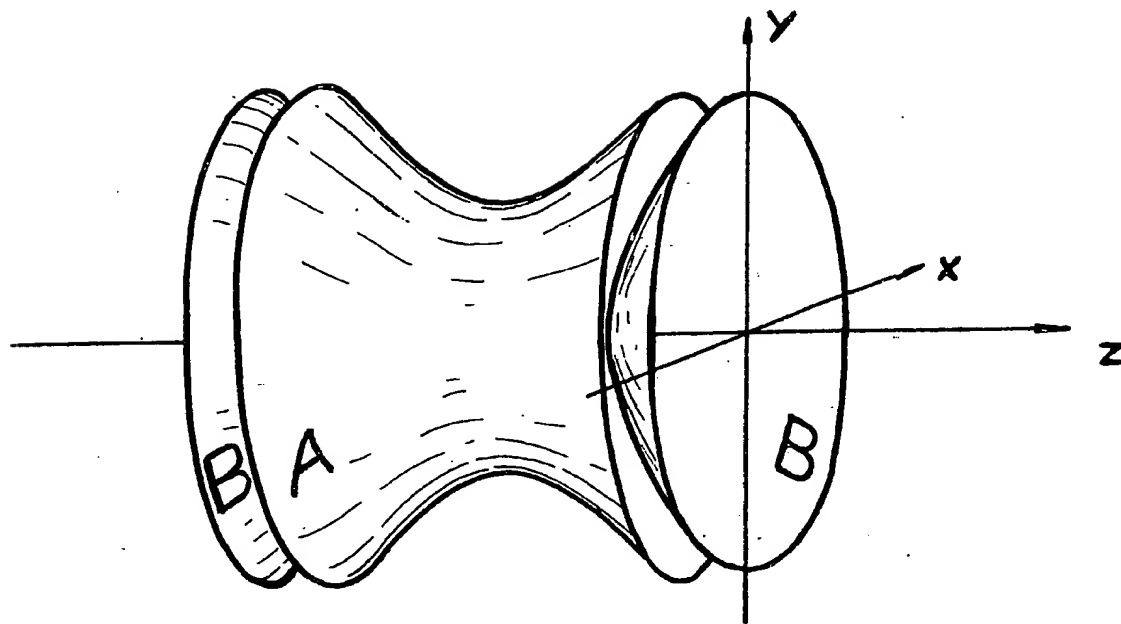


Abb. 4

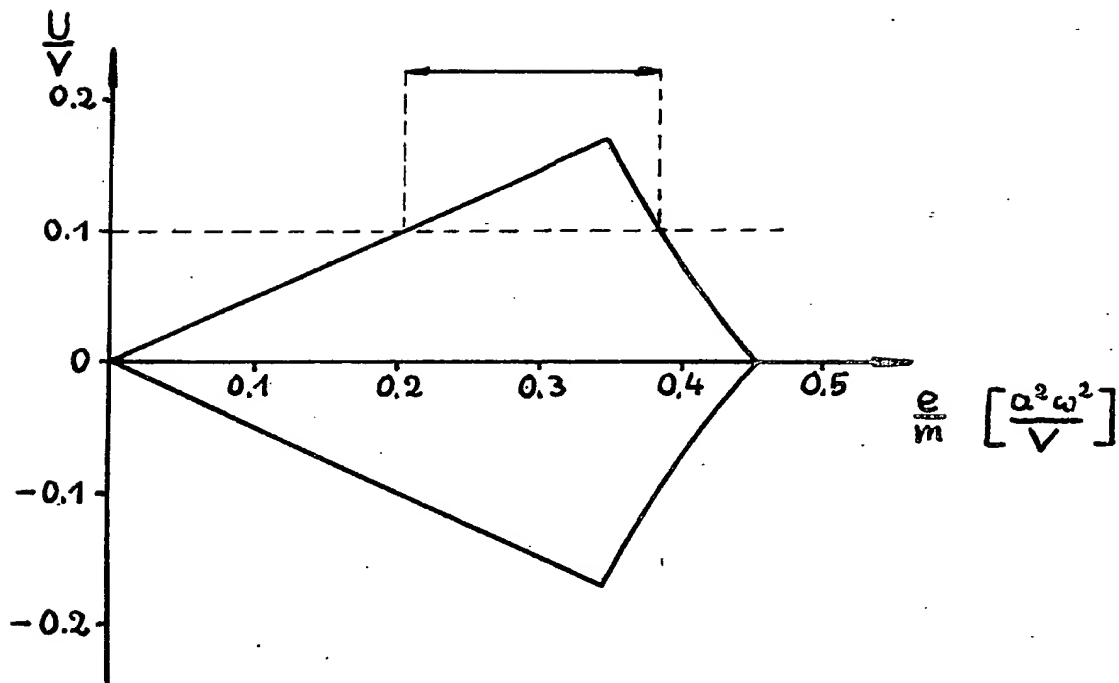


Abb. 5

Zu der Patentschrift 944 900

Kl. 42 I Gr. 3 09

Internat. Kl. G 01 n —

Blatt II

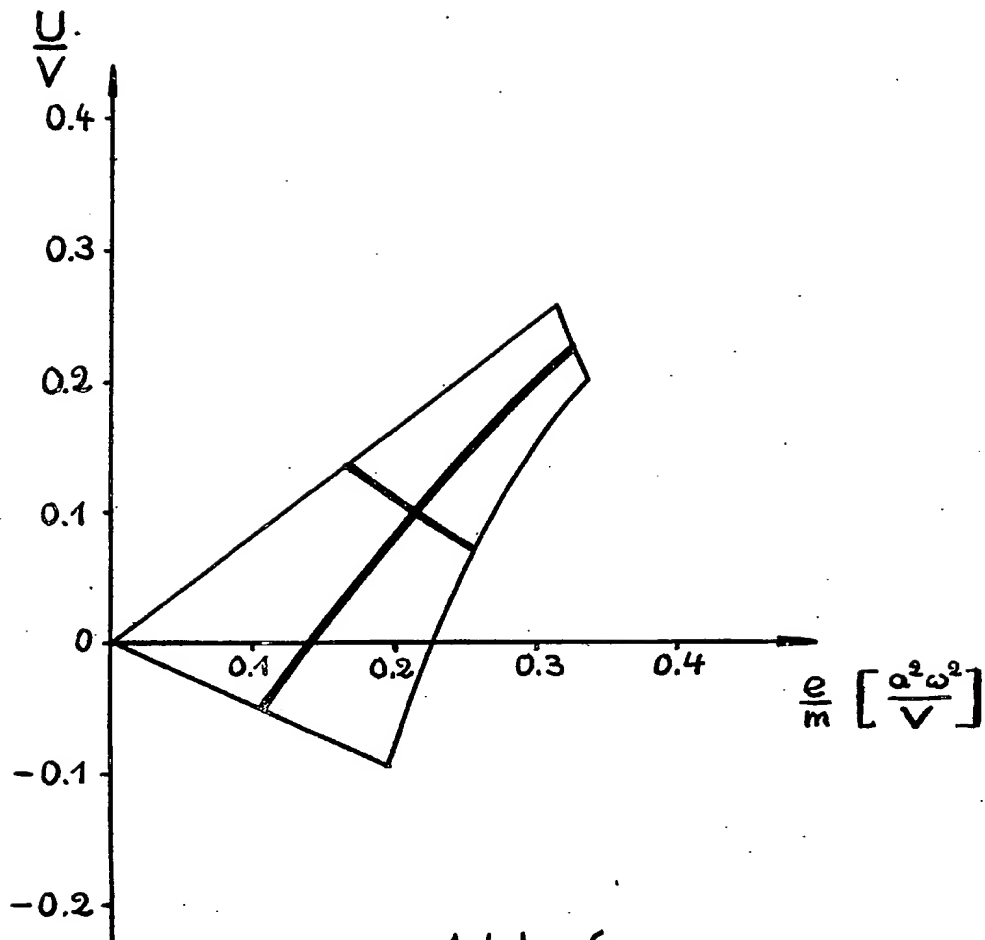


Abb. 6